饲粮锌水平对肉鸡生长性能、屠宰性能、血清免疫指标及锌排放的影响

陈志敏　刘国华*　蔡辉益　常文环　郑爱娟　张　姝

（中国农业科学院饲料研究所，农业部生物饲料重点实验室，生物饲料开发国家工程研究中心，北京　100081）

摘　要：本试验旨在研究饲粮锌水平对肉鸡生长性能、屠宰性能、血清免疫指标及锌排放的影响。选择 1 日龄健康爱拔益加（AA）肉鸡 600 只，随机分为 5 个组，每组 6 个重复，每个重复 20 只鸡（公母各占 1/2）。各组饲粮锌水平分别为 30（基础饲粮组）、60、90、120、150 mg/kg。试验期 42 d。结果表明：1）1~42 日龄，60、90、120 和 150 mg/kg 锌水平组公鸡的平均日增重显著高于基础饲粮组（P<0.05），各组母鸡的平均日增重差异不显著（P>0.05）。2）饲粮锌水平对 21 和 42 日龄肉鸡免疫器官指数和屠宰性能均无显著影响（P>0.05）。3）公鸡 21 日龄时，120、150 mg/kg 锌水平组的新城疫血清抗体滴度显著高于基础饲粮组和 60、90 mg/kg 锌水平组（P<0.05）；42 日龄时，各组之间新城疫血清抗体滴度差异不显著（P>0.05)。母鸡 21 日龄时，各组之间新城疫血清抗体滴度差异不显著（P>0.05)；42 日龄时，120 mg/kg 锌水平组新城疫血清抗体滴度显著高于其他各组（P<0.05）。4）饲粮锌水平对 21 和 42 日龄肉鸡粪便锌含量和锌表观利用率有显著影响（P<0.05)。在不同生长阶段，42 日龄的粪便锌含量明显高于 21 日龄，21 日龄的锌表观利用率明显高于 42 日龄。由此可见，在本试验条件下，饲粮锌水平为 60 mg/kg 时能满足肉鸡生长的需要，饲粮的锌水平为 120 mg/kg 时能够保持肉鸡较好的免疫功能。

关键词：锌；肉鸡；生长性能；免疫；锌排放

中图分类号：S831.5

锌是肉鸡生长发育必需的微量营养元素，是目前确认的 15 种必需微量元素中生理功能最多的一种元素。锌不仅参与动物体内蛋白质、氨基酸、核酸、脂肪、碳水化合物和维生素以及微量元素等的代谢，而且与胰岛素、胰高血糖素、前列腺素、促性腺激素等的活性有关，还在骨骼发育、生殖、免疫、凝血、生物膜稳定和基因表达等生理机能中担负重要角色。另外，锌还是许多功能蛋白如金属硫蛋白、核蛋白、受体等的组成成分，由于其在体内广泛的

收稿日期：2018-03-05

基金项目：现代农业产业技术体系国家肉鸡产业技术体系项目（CARS　42）

作者简介：陈志敏（19**—），女，内蒙古通辽人，博士，动物营养与饲料科学专业。Email: chenzhimin@caas.cn

*通信作者：刘国华，研究员，博士生导师，E-mail: liuguohua@caas.cn

生理生化功能而被称为“生命元素”。畜禽体内锌含量不足时，不仅影响生长发育，而且会引起代谢紊乱、免疫器官萎缩，从而导致免疫功能低下，易受细菌、病毒和真菌的侵入和感染。目前，在肉鸡生产中锌过量添加的现象比较普遍，其后果不仅无法改善肉鸡的生长性能和健康状况，反而会降低微量元素整体的利用率，造成微量元素资源的浪费和环境的污染[1]。本试验旨在研究饲粮锌水平对肉仔鸡生长性能、屠宰性能、血清免疫指标及锌排放的影响，研究其在肉鸡饲粮中的适宜添加量，为确定肉鸡饲粮中锌的添加限量提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验材料

一水硫酸锌（饲料级），锌含量 35.5%，购自北京精准动物营养研究中心。

1.2　试验设计

试验在中国农业科学院饲料研究所南口试验基地进行。选择 1 日龄健康爱拔益加（AA）肉鸡 600 只，随机分为 5 个组，每组 6 个重复，每个重复 20 只鸡（公母各 10 只，分 2 笼饲养）。各组分别饲喂饲粮锌水平分别为 30（基础饲粮组）、60、90、120、150 mg/kg 的试验饲粮。

基础饲粮采用玉米-豆粕-杂粕型饲粮，制成颗粒饲料，基础饲粮中锌水平约为 30 mg/kg，其组成及营养水平见表 1。在基础饲粮中分别以一水硫酸锌形式添加 30、60、90 和 120 mg/kg 锌，配制其他 4 种试验饲粮。试验设计见表 2。

表 1　基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	1~21 日龄 1 to 21 days of age	22~42 日龄 22 to 42 days of age
原料 Ingredients		
玉米 Corn	54.49	59.81
豆粕 Soybean meal	26.58	16.75
棉籽粕 Cottonseed meal	3.00	5.00
玉米干酒糟及其可溶物 Corn DDGS	4.40	5.40
菜籽粕 Rapeseed expeller	2.00	3.00
植物油 Vegetable oil	4.64	5.47
石粉 Limestone	1.33	1.21
磷酸氢钙 $CaHPO_3$	1.79	1.58
L-赖氨酸 *L*-Lys	0.17	0.26
DL-蛋氨酸 *DL*-Met	0.25	0.22
L-苏氨酸 *L*-Thr	0.10	0.10
氯化胆碱 Choline chloride	0.20	0.20

甜菜碱 Betaine	0.20	0.15
食盐 NaCl	0.35	0.35
预混料 Premix[1)]	0.50	0.50
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.39	12.83
粗蛋白质 CP	21.07	19.08
钙 Ca	1.00	0.90
有效磷 AP	0.45	0.35
赖氨酸 Lys	1.10	0.90
蛋氨酸 Met	0.50	0.41
锌 Zn/（mg/kg）	29.92	26.13

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：1~21 日龄 1 to 21 days of age VA 9 000 IU，VD_3 1 000 IU，VE 20 mg，VK_3 0.50 mg，VB_1 2.0 mg，VB_2 8 mg，VB_6 3.5 mg，VB_{12} 0.01 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 10 mg，烟酸 nicotinic acid 35 mg，叶酸 folic acid 0.55 mg，生物素 biotin 0.18 mg，Cu (as copper sulphate) 8 mg，Fe (as ferrous sulfate) 60 mg，Mn (as manganese sulfate) 80 mg，I (as calcium iodate) 0.7 mg，Se (as sodium selenite) 0.3 mg；22~42 日龄 22 to 42 days of age，VA 6 000 IU，VD_3 670 IU，VE 13.3 mg，VK_3 0.33 mg，VB_1 1.3 mg，VB_2 5.3 mg，VB_6 2.3 mg，VB_{12} 0.007 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 6.7 mg，烟酸 nicotinic acid 23 mg，叶酸 folic acid 0.37 mg，生物素 biotin 0.12 mg，Cu (as copper sulphate) 8 mg，Fe (as ferrous sulfate) 60 mg，Mn (as manganese sulfate) 80 mg，I (as calcium iodate) 0.7 mg，Se (as sodium selenite) 0.3 mg

[2)]锌为实测值，其余为计算值。Zn was a measured value, while the others were calculated values.

表 2 试验设计

Table 2 Experimental design

组别 Groups	试验饲粮 Experimental diet	饲粮锌水平 Dietary zinc level/(mg/kg)
T1	基础饲粮	30
T2	基础饲粮+30 mg/kg 锌	60
T3	基础饲粮+60mg/kg 锌	90
T4	基础饲粮+90 mg/kg 锌	120
T5	基础饲粮+120 mg/kg 锌	150

1.3 饲养管理

采用不锈钢肉鸡笼 3 层笼养，23 h 光照，乳头式饮水器供水，自由采食。鸡舍温度第 1~3 天为 33 ℃，从第 4 天开始逐步降温直至保持室温。1 日龄接种马立克氏病、鸡新城疫苗，21 日龄饮水接种法氏囊病疫苗。鸡舍卫生按常规管理进行。每天观察试验鸡的精神状态、食欲及粪便情况，记录死亡只数。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 生长性能指标

于 1、21 和 42 日龄称重、结料，以重复为单位计算生长前期（1~21 日龄）、生长后期

（22~42 日龄）、生长全期（1~42 日龄）的平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G），计算生长全期的死淘率。

1.4.2 屠宰性能指标

于 21 和 42 日龄，每重复随机选取公鸡和母鸡各 1 只，放血屠宰，按《家禽生产性能名词术语和度量统计方法》（NY/T 823-2004）测定全净膛率、半净膛率、腿肌率、胸肌率和腹脂率。

1.4.3 免疫器官指数

于 21 和 42 日龄，每重复随机选取公鸡和母鸡各 1 只，取脾脏、法氏囊、胸腺，测定重量，计算免疫器官指数。

免疫器官指数=免疫器官重量(g) / 屠体重(kg)。

1.4.4 血清免疫指标

于 21 和 42 日龄，每重复随机选取公鸡和母鸡各 1 只，心脏采血，制备血清，采用血凝抑制试验法测定新城疫病毒抗体滴度，试验抗原、阴性血清和阳性血清均购自北京中海生物科技有限公司。采用日立 7600 全自动生化分析仪测定血清免疫球蛋白 A（IgA）、免疫球蛋白 M（IgM）、免疫球蛋白 G（IgG）含量。

1.4.5 锌表观利用率

采用二氧化钛指示剂法测定。各组饲粮二氧化钛指示剂添加量为 0.4%，并充分混匀，冷压加工为颗粒饲粮待用。17～21 日龄和 37～42 日龄，定时收集粪样 3 d，混合均匀，65 ℃烘干，测粪样中锌、二氧化钛含量，计算锌表观利用率。计算公式如下：

锌表观利用率（%）=[1-（饲粮中二氧化钛含量/粪样中二氧化钛含量）×（粪样中锌含量/饲粮中锌含量）]×100。

1.4.6 饲粮和粪中锌含量

样品 105 ℃干燥至恒重，空气中回潮 24 h。称取一定量的饲粮和粪样灰化 12 h，如仍有炭粒则滴加浓硝酸使残渣湿润，加热烘干后再灰化至无炭粒。灰分用盐酸溶解、标定。以上标定好的样品用原子吸收分光光度计(日立公司 Z-2000 型)火焰法测定锌含量。

1.5 数据统计分析

采用 SPSS 17.0 软件的单因子方差分析和一般线性模型（GLM）程序进行二因素方差分析，因子显著性采用 F 检验。对主效应显著的指标进行 LSD 多重比较。采用曲线估计（curve estimate）程序对饲粮锌水平（x）与有关的敏感指标（y）进行线性和二次模型回归分析。P

＜0.05 表示差异显著。

2 结 果

2.1 饲粮锌水平的计算值与实测值

饲粮锌水平的计算值与实测值见表 3。由表可见，饲粮锌水平的计算值与实测值基本一致。

表 3 饲粮锌水平的计算值与实测值

Table 3 Calculated value and measured value of dietary zinc level mg/kg

组别 Groups	1~21 日龄 1 to 21 days of age		22~42 日龄 22 to 42 days of age	
	计算值 Calculated value	实测值 Measured value	计算值 Calculated value	实测值 Measured value
T1	30	29.92	30	26.13
T2	60	64.82	60	63.43
T3	90	94.82	90	87.02
T4	120	117.61	120	127.57
T5	150	150.35	150	151.15

2.2 饲粮锌水平对肉鸡生长性能的影响

饲粮锌水平对肉鸡生长性能的影响见表 4、表 5 和表 6。由表 4 可见，生长前期，90 mg/kg 锌水平组公鸡的平均日增重和平均日采食量显著高于基础饲粮组和 60 mg/kg 锌水平组（P<0.05），各组公鸡的料重比差异不显著（P>0.05）。各组母鸡的平均日增重、平均日采食量和料重比差异不显著（P>0.05）。

表 4 饲粮锌水平对 1~21 日龄肉鸡生长性能的影响

Table 4 Effects of dietary zinc level on growth performance of broilers during 1 to 21 days of age

项目 Items		平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G
公 Male				
组别 Groups	T1	33.58[a]	49.2[a]	1.47
	T2	34.23[a]	50.12[a]	1.46
	T3	38.18[b]	55.87[b]	1.46
	T4	36.08[ab]	52.79[ab]	1.46
	T5	35.58[ab]	51.41[ab]	1.44
SEM		2.96	5.32	0.05
P值 P-value	线性 Linear	0.148	0.208	0.745
	二次 Quadratic	0.068	0.097	0.428
母 Female				

组别 Groups	T1	32.91	47. 94	1.46
	T2	34.26	49. 77	1.45
	T3	33.53	49.02	1.46
	T4	33.28	49.74	1.49
	T5	34.09	50.21	1.47
SEM		2.77	5.01	0.08
*P*值 *P*-value	线性 Linear	0.614	0.714	0.158
	二次 Quadratic	0.867	0.732	0.247
主效应 Main effect				
*P*值 *P*-value	水平 Level	0.185	0.207	0.319
	性别 Sex	0.006	0.050	0.060
	性别×水平 Sex×level	0.702	0.812	0.564

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05），相同或无字母表示差异不显著（*P*>0.05）。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (*P*>0.05). The same as below.

由表 5 可见，生长后期，60、90、120、150 mg/kg 锌水平组公鸡的平均日增重和平均日采食量显著高于基础饲粮组（*P*<0.05），各组公鸡的料重比差异不显著（*P*>0.05）。各组母鸡的平均日增重、平均日采食量和料重比差异不显著（*P*>0.05）。

表 5　饲粮锌水平对 22~42 日龄肉鸡生长性能的影响

Table 5　Effects of dietary zinc level on growth performance of broilers during 22 to 42 days of age

项目 Items		平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G
公 Male				
组别 Groups	T1	82.50[a]	166.12[a]	2.01
	T2	89.21[b]	176.48[b]	1.98
	T3	85.54[b]	170.43[b]	1.99
	T4	89.70[b]	178.45[b]	1.99
	T5	88.48[b]	174.89[b]	1.98
SEM		6.53	7.12	0.03
*P*值 *P*-value	线性 Linear	0.065	0.074	0.304
	二次 Quadratic	0.208	0.080	0.277
母 Female				
组别 Groups	T1	80.07	164.12	2.05
	T2	77.78	161.06	2.07
	T3	77.49	160.87	2.08
	T4	76.74	159.75	2.08
	T5	77.99	163.21	2.09
SEM		5.99	9.72	0.06
*P*值 *P*-value	线性 Linear	0.527	0.708	0.096
	二次 Quadratic	0.410	0.074	0.101

主效应 Main effect				
	水平 Level	0.103	0.064	0.529
*P*值 *P*-value	性别 Sex	0.000	0.001	0.000
	性别×水平 Sex×level	0.658	0.398	0.475

由表 6 可见，生长全期，60、90、120、150 mg/kg 锌水平组公鸡的平均日增重显著高于基础饲粮组（$P<0.05$），各组母鸡的平均日增重差异不显著（$P>0.05$）。各组公鸡和母鸡的平均日采食量、料重比和死淘率均差异不显著（$P>0.05$）。

肉鸡各生长阶段的平均日增重、平均日采食量、料重比与饲粮锌水平之间均无显著的线性或者二次曲线回归关系（$P>0.05$）。

表 6　饲粮锌水平对 1~42 日龄肉鸡生长性能的影响

Table 6　Effects of dietary zinc level on growth performance of broilers during 1 to 42 days of age

项目 Items		平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/g	料重比 F/G	死淘率 Mortality/%
公 Male					
组别 Groups	T1	58.04[a]	104.74	1.80	1.02
	T2	61.72[b]	109.94	1.78	0.42
	T3	61.86[b]	110.32	1.78	1.92
	T4	62.89[b]	113.07	1.80	1.08
	T5	62.03[b]	110.31	1.78	1.33
SEM		4.31	6.58	0.02	1.52
*P*值 *P*-value	线性 Linear	0.119	0.107	0.098	0.211
	二次 Quadratic	0.146	0.200	0.087	0.146
母 Female					
组别 Groups	T1	56.49	102.65	1.82	1.56
	T2	56.02	101.99	1.82	0.18
	T3	55.51	101.62	1.83	2.34
	T4	55.01	101.11	1.84	1.56
	T5	56.04	101.36	1.81	1.56
SEM		4.80	5.47	0.02	2.89
*P*值 *P*-value	线性 Linear	0.670	0.217	0.157	0.226
	二次 Quadratic	0.769	0.328	0.219	0.237
主效应 Main effect					
*P*值 *P*-value	水平 Level	0.056	0.207	0.319	0.325
	性别 Sex	0.007	0.050	0.060	0.216
	性别×水平 Sex×level	0.436	0.812	0.564	0.771

2.3　饲粮锌水平对肉鸡免疫器官指数和屠宰性能的影响

饲粮锌水平对肉鸡免疫器官指数和屠宰性能的影响见表 7 和表 8。由表可见，饲粮锌水平对 21 和 42 日龄肉鸡免疫器官指数和屠宰性能均无显著影响（*P*>0.05）。肉鸡 21 和 42 日龄免疫器官指数、屠宰性能与饲粮锌水平之间无显著的线性或者二次曲线回归关系（*P*>0.05）。

表 7　饲粮锌水平对 21 日龄肉鸡免疫器官指数和屠宰性能的影响

Table 7　Effects of dietary zinc level on immune organ index and slaughter performance of broilers at 21 days of age

项目 Items		脾脏指数 Spleen index/(g/kg)	胸腺指数 Thymus index/(g/kg)	法氏囊指数 Bursa of Fabricius index/(g/kg)	全净膛率 Whole net carcass rate/%	半净膛率 Half net carcass rat/%	胸肌率 Percentage of breast muscle/%	腿肌率 Percentage of thigh muscle/%	腹脂率 Percentage of abdominal fat/%
公 Male									
组别 Groups	T1	1.20	2.13	1.18	0.62	0.85	0.10	0.08	0.020
	T2	1.18	2.84	1.55	0.73	0.85	0.10	0.08	0.019
	T3	1.18	3.10	1.48	0.71	0.84	0.11	0.08	0.016
	T4	1.02	2.70	1.47	0.74	0.83	0.11	0.08	0.147
	T5	0.99	2.88	1.65	0.71	0.83	0.09	0.08	0.199
SEM		0.047	0.186	0.081	0.025	0.005	0.002	0.001	0.001
*P*值 *P*-value	线性 Linear	0.988	0.147	0.311	0.293	0.086	0.106	0.187	0.467
	二次 Quadratic	0.969	0.319	0.300	0.315	0.145	0.061	0.220	0.138
母 Female									
组别 Groups	T1	1.31	3.32	1.41	0.63	0.86	0.11	0.07	0.022
	T2	1.36	3.71	1.27	0.73	0.84	0.10	0.07	0.021
	T3	1.21	2.81	1.36	0.73	0.85	0.10	0.07	0.022
	T4	0.95	3.85	1.17	0.61	0.84	0.10	0.08	0.026
	T5	0.95	2.68	1.41	0.60	0.84	0.11	0.07	0.024
SEM		0.032	0.138	0.069	0.019	0.004	0.001	0.002	0.002
*P*值 *P*-value	线性 Linear	0.756	0.127	0.224	0.208	0.091	0.098	0.207	0.518
	二次 Quadratic	0.697	0.219	0.317	0.289	0.129	0.087	0.211	0.207

主效应 Main effect									
*P*值 *P*-value	水平 Level	0.351	0.622	0.644	0.542	0.194	0.108	0.643	0.687
	性别 Sex	0.316	0.066	0.184	0.129	0.217	0.131	0.004	0.000
	性别×水平 Sex×level	0.548	0.472	0.369	0.418	0.537	0.315	0.355	0.431

表 8　饲粮锌水平对 42 日龄肉鸡免疫器官指数和屠宰性能的影响

Table 8　Effects of dietary zinc level on immune organ index and slaughter performance of broilers at 42 days of age

项目 Items		脾脏指数 Spleen index/(g/kg)	胸腺指数 Thymus index/(g/kg)	法氏囊指数 Bursa of Fabricius index/(g/kg)	全净膛率 Whole net carcass rate/%	半净膛率 Half net carcass rat/%	胸肌率 Percentage of breast muscle/%	腿肌率 Percentage of thigh muscle/%	腹脂率 Percentage of abdominal fat/%
公 Male									
组别 Groups	T1	1.09	3.27	1.26	0.74	0.85	0.11	0.08	0.020
	T2	1.01	2.84	1.38	0.73	0.85	0.10	0.08	0.019
	T3	1.14	3.10	1.48	0.73	0.84	0.11	0.08	0.016
	T4	1.08	2.70	1.59	0.74	0.82	0.11	0.08	0.015
	T5	1.05	2.88	1.59	0.73	0.83	0.10	0.08	0.020
SEM		0.031	0.186	0.081	0.025	0.005	0.002	0.001	0.001
*P*值 *P*-value	线性 Linear	0.752	0.131	0.304	0.128	0.073	0.148	0.170	0.425
	二次 Quadratic	0.832	0.235	0.277	0.344	0.100	0.055	0.203	0.107
母 Female									
	T1	1.31	3.55	1.42	0.73	0.86	0.11	0.07	0.022
	T2	1.36	3.71	1.44	0.73	0.84	0.10	0.07	0.021
	T3	1.21	3.16	1.36	0.73	0.85	0.10	0.07	0.022
	T4	1.02	3.85	1.25	0.73	0.84	0.10	0.08	0.026
	T5	1.18	2.68	1.53	0.72	0.84	0.11	0.07	0.024
SEM		0.029	0.118	0.055	0.014	0.003	0.001	0.001	0.002
*P*值 *P*-value	线性 Linear	0.637	0.146	0.200	0.311	0.073	0.057	0.211	0.407

主效应 Main effect	二次 Quadratic	0.604	0.272	0.219	0.254	0.136	0.056	0.206	0.246
	水平 Level	0.782	0.669	0.585	0.307	0.194	0.108	0.586	0.687
*P*值 *P*-value	性别 Sex	0.075	0.105	0.304	0.467	0.217	0.131	0.129	0.000
	性别×水平 Sex×level	0.408	0.346	0.354	0.378	0.477	0.324	0.370	0.385

2.4　饲粮锌水平对肉鸡血清免疫指标的影响

饲粮锌水平对肉鸡血清免疫指标的影响见表 9。由表可见，各组肉鸡 21 和 42 日龄血清 IgA、IgM 和 IgG 含量没有表现出明显规律性。公鸡 21 日龄时，120、150 mg/kg 锌水平组血清抗体滴度显著高于基础饲粮组和 60、90 mg/kg 锌水平组（P<0.05）；42 日龄时，各组之间血清抗体滴度没有显著差异（P>0.05）。母鸡 21 日龄时，各组之间血清抗体滴度没有显著差异（P>0.05）；42 日龄时，120 mg/kg 锌水平组血清抗体滴度显著高于其他各组（P<0.05）。

21 日龄时，饲粮锌水平（y）与公鸡血清抗体滴度（x）有显著的线性和二次回归关系（P＜0.05），其回归方程分别为 y=0.008x+5.000 (R^2=0.285)和 y=0.000 079 4x^2-0.002x+5.143 (R^2=0.300)；二次回归曲线分析当饲粮锌水平为 42.59 mg/kg 时，公鸡血清抗体滴度最低。

42 日龄时，饲粮锌水平（y）与公鸡血清 IgA 含量（x）有显著的二次回归关系（P＜0.05），其回归方程为 y=-0.000 075 9x^2+0.011x+0.830 (R^2=0.248)；二次回归曲线分析当饲粮锌水平为 102.44 mg/kg 时，公鸡血清 IgA 含量最高。

表 9　饲粮锌水平对 21 和 42 日龄肉鸡血清免疫指标的影响

Table 9　Effects of dietary zinc level on serum immune index of broilers at 21 and 42 days of age

项目 Items		21日龄 21 days of age				42日龄 42 days of age			
		免疫球蛋白A IgA/(g/L)	免疫球蛋白M IgM/(g/L)	免疫球蛋白G IgG/(g/L)	抗体滴度 Antibody titer	免疫球蛋白A IgA/(g/L)	免疫球蛋白M IgM,/(g/L)	免疫球蛋白G IgG/(g/L)	抗体滴度 Antibody titer
公 Male									
组别 Groups	T1	1.21^{a}	0.73	6.96^{a}	5.17^{a}	0.95^{a}	0.83^{a}	8.31^{a}	8.67
	T2	0.81^{b}	0.69	6.42^{ab}	5.17^{a}	0.87^{a}	0.63^{b}	7.36^{ab}	7.17
	T3	1.03^{a}	0.62	7.76^{ac}	5.17^{a}	1.24^{b}	0.69^{ab}	7.15^{ab}	6.83

	T4	0.86^{b}	0.72	6.33^{a}	5.83^{b}	1.47^{b}	0.82^{ab}	7.59^{ab}	7.67
	T5	1.32^{a}	0.82	8.27^{c}	6.00^{b}	0.99^{a}	0.64^{ab}	6.27^{b}	7.50
SEM		0.047	0.034	0.198	0.115	0.056	0.033	0.306	0.238
*P*值 *P*-value	线性 Linear	0.434	0.399	0.068	0.002	0.083	0.083	0.074	0.284
	二次 Quadratic	**0.051**	0.208	0.076	0.005	0.021	0.051	0.208	0.052
母 Female									
	T1	1.29^{a}	0.87^{a}	8.25^{a}	5.67	0.99^{ab}	0.71^{b}	10.64^{a}	7.83^{a}
	T2	0.81^{b}	0.72^{ab}	6.51^{b}	5.17	0.77^{b}	0.61^{b}	5.52^{c}	6.83^{b}
	T3	1.01^{b}	0.72^{b}	7.35^{ab}	5.17	1.18^{a}	0.70^{b}	6.97^{c}	7.50^{abc}
	T4	0.97^{b}	0.55^{b}	7.55^{ab}	5.33	1.37^{c}	0.96^{a}	7.63^{bc}	9.83^{d}
	T5	1.22^{a}	0.62^{ab}	7.38^{ab}	5.00	1.18^{a}	0.66^{b}	6.94^{c}	7.17^{abc}
SEM		0.277	0.144	0.199	0.130	0.060	0.037	0.430	0.235
*P*值 *P*-value	线性 Linear	0.953	**0.001**	0.617	0.225	0.018	0.018	0.081	0.325
	二次 Quadratic	0.011	**0.001**	0.279	0.412	0.059	0.059	0.012	0.438
主效应 Main effect									
*P*值 *P*-value	水平 Level	0.001	0.101	0.006	0.386	0.000	0.002	0.001	0.001
	性别 Sex	0.755	0.409	0.275	0.290	0.922	0.958	0.659	0.368
	性别×水平 Sex×level	0.132	0.514	0.369	0.318	0.523	0.489	0.621	0.458

2.5 饲粮锌水平对肉鸡粪中锌排放及锌表观利用率的影响

饲粮锌水平对肉鸡粪中锌排放及锌表观利用率的影响见表 10。由表可见，饲粮锌水平对 21 和 42 日龄肉鸡粪便锌含量有显著影响（$P<0.05$），随着饲粮锌水平的提高，粪便锌含量逐渐提高。不同生长阶段粪便锌含量也表现出差异，42 日龄的粪便锌含量明显高于 21 日龄。

饲粮锌水平对 21 和 42 日龄肉鸡锌表观利用率有显著影响（$P<0.05$），随着饲粮锌水平增加，锌表观利用率呈增加趋势，30 mg/kg 锌水平组 21 和 42 日龄锌表观利用率显著低于 90 和 150 mg/kg 锌水平组（$P<0.05$）。不同生长阶段锌表观利用率也表现出差异，21 日龄的锌表观利用率明显高于 42 日龄。

表 10　饲粮锌水平对 21 和 42 日龄肉鸡粪便锌含量及锌表观利用率的影响

Table 10 Effects of dietary zinc level on fecal zinc content and zinc apparent utilization rate

组别 Groups	21日龄 21 days of age		42日龄 42 days of age	
	粪便锌含量 Fecal zinc content/(mg/kg)	锌表观利用率 Zinc apparent utilization rate/%	粪便锌含量 Fecal zinc content/(mg/kg)	锌表观利用率 Zinc apparent utilization rate/%
T1	252.32[b]	23.01[b]	318.09[c]	13.76[c]
T2	289.56[b]	24.56[ab]	336.17[bc]	14.11[bc]
T3	325.09[ab]	25.09[a]	396.32[ab]	14.89[ab]
T4	352.97[ab]	24.96[ab]	422.76[a]	15.52[a]
T5	385.91[a]	25.71[a]	543.78[d]	15.41[a]
SEM	34.97	3.01	27.45	1.04
*P*值 *P*-value	0.001	0.033	＜0.001	0.025

3 讨 论

3.1 饲粮锌水平对肉鸡生长性能和屠宰性能的影响

锌在生物体内的作用是通过多种含锌酶来实现的，锌参与多种代谢过程，包括糖类、脂类、蛋白质与核酸的合成与降解，从而影响肉鸡的生长性能。肉鸡饲粮中添加锌的效果不仅取决于基础饲粮中的锌水平，而且取决于鸡的品种、性别及试验的时间、周期和锌添加水平。本试验中，饲粮锌水平对生长全期肉公鸡平均日增重产生显著影响，这与一些研究人员的结果相似。廖秀冬等[2]研究了饲粮锌水平对肉鸡生长性能和血清生理生化指标的影响，建议22~42 日龄的饲粮锌需要量为 65 mg/kg。王明发[3]报道，锌添加水平对各阶段的饲料转化率没有显著影响，但显著影响固始鸡和 AA 肉鸡的体增重。但是也有一些报道认为锌添加水平在一定范围内时不影响肉鸡生长性能，Smith 等[4]研究发现，肉鸡饲粮的锌添加水平在 34~181 mg/kg 内变化，未对肉鸡的生长性能产生显著影响。这种不敏感性可能源于基础饲粮中微量元素的影响，因为肉鸡本身对微量元素的需要量比较少，试验所用基础饲粮中的微量元素可能已经可以满足肉鸡的生长需要，额外添加的微量元素对生长性能的改善效应未得以体现。田佳等[5]报道，饲粮锌水平在 NRC 推荐量至 2 倍 NRC 推荐量范围时对 22~42 日龄肉鸡的生长性能无显著影响，粪便中锌的排泄量均受饲粮中其他微量元素添加量的影响，饲粮锌水平为 38.23 mg/kg 时，能够满足肉鸡微量元素需要量，同时粪便中锌排泄量最小。何霆等[6]研究指出，饲粮锌水平为 40～50 mg/kg 时能够满足肉鸡生长需要；陈克嶙等[7]研究了在玉米-多饼粕型饲粮（含 30 mg/kg 锌）中添加 0、40、80 mg/kg 锌对 4～6 周龄肉鸡组织锌含量、免疫器官发育和生长性能的影响，结果发现不补充锌不影响肉鸡体重和饲料转化率，但腿异

常率、羽毛生长不良率和死亡率较高，并影响一些消化器官和免疫器官的生长发育，补充40 mg/kg 锌可以改善上述不良情况，补充 80 mg/kg 锌影响不显著；综合从营养消化生理和免疫角度而言，认为在基础饲粮中补充 40 mg/kg 锌是适宜的。孙存孝等[8]通过添加不同水平锌发现肉鸡适宜锌需要量为 60 mg/kg，其试验中基础饲粮锌水平为 30 mg/kg，锌添加水平为 30 mg/kg；闫素梅[9]研究饲粮锌水平为 47.51~87.61 mg/kg 时，肝脏与胫骨锌含量相对稳定，生长性能、免疫机能较高，认为锌水平适宜；而继续提高饲粮锌水平时免疫机能较高，但肝脏与胫骨锌含量下降，生长性能也下降，认为锌过量；当饲粮锌水平达到 327.61 mg/kg 时，肝脏和胫骨锌含量、生长性能、免疫机能均显著降低，表明锌严重过量；并指出确定肉仔鸡锌添加水平时，必须同时考虑基础饲粮中的锌水平，并综合考虑生长性能、免疫功能及组织锌代谢指标。Wedekind 等[10]观察到当饲粮锌水平由 10 mg/kg 增加到 30 mg/kg 时提高了雏鸡增重；Mohanna 等[11]研究表明肉鸡锌需要量为 40 mg/kg。张春善等[12]研究认为，肉仔鸡对锌的需要量有阶段性区别，前期添加 320 mg/kg，后期添加 80～120 mg/kg 能获得较好的生长性能和免疫功能，但其试验基础饲粮锰水平较低（24.50 mg/kg，实测值），可能对结果有影响。锌对家禽屠宰性能的影响目前研究资料相对较少。本研究结果表明，各组肉鸡的屠宰性能未表现出显著差异，原因可能是基础饲粮的锌水平为 30 mg/kg，再额外添加锌对屠宰性能不能起到改善的作用。

3.2　饲粮锌水平对肉鸡血清免疫指标的影响

血清免疫指标有时也作为评定微量元素需要量的评定指标，较高的免疫水平和健康状况是获得较高生长性能的重要前提。锌是维持正常免疫细胞和其他免疫器官的重要元素。本试验中，饲粮锌水平显著影响肉鸡的抗新城疫病毒血清抗体滴度，在饲粮锌水平为 90 mg/kg 时，免疫功能最佳。Prasad 等[13]研究显示，锌与免疫系统的发生、发育和免疫功能存在着密切的关系，锌缺乏会引发动物免疫功能下降，导致疾病的发生和生长限制。锌主要从 2 方面影响动物机体的免疫功能：一是锌缺乏会直接引起机体内免疫器官、免疫细胞等组织的损伤、改变或分化；二是通过影响机体内其他组织的营养、生长和代谢间接改变免疫功能。锌影响营养物质的代谢和 DNA、RNA 的功能，必然也会作用于免疫器官及其细胞，从而改变机体免疫。此外，锌与维生素 A、维生素 E、维生素 C 等在机体吸收代谢中关系密切，共同影响机体免疫。

张日俊等[14]研究报道，缺锌组与对照组相比，肉鸡血清马立克（MDV)和新城疫的酶联免疫吸附试验（ELISA）效价明显下降。Stahl 等[15]报道，饲喂 28、38、48、68、118 mg/kg

不同锌水平的饲粮，鸡合成抗体的能力在 28 和 118 mg/kg 锌水平较低，而在 38~48 mg/kg 锌水平时最高，雏鸡饲粮中锌水平维持在 38 mg/kg 较为适宜，低于此水平，雏鸡对绵羊红细胞(SRBC)的抗体反应减弱；当饲粮锌水平达 150 mg/kg 时，雏鸡摄入体内的锌会过量，引起雏鸡的边缘性免疫抑制，但对其生长无影响。闫素梅[9]研究显示，饲粮锌水平在 44.67~84.67 mg/kg 内，肉仔鸡细胞免疫和体液免疫机能达到最佳状态，饲粮锌水平为 4.67 mg/kg(锌缺乏）或 647.61 mg/kg(锌过量）时，均显著降低肉仔鸡细胞免疫和体液免疫功能。崔恒敏等[16]报道，高锌（超生理剂量）对胸腺等免疫器官是非常不利的，高锌损害了胃黏膜并形成多发性溃疡病，降低了鸡的免疫力。同时认为，动物受感染时体内锌的重新调整，有助于机体抗御感染，肝脏对锌摄取量增加，能使其机能更好，血液锌含量减少，更有利于吞噬细胞抗菌作用。有些研究认为免疫指标同生长性能指标一样不是所谓的“敏感指标”。如 Stahl 等[15]发现与饲喂锌水平为 37 mg/kg 的基础饲粮相比，饲喂锌水平为 103 mg/kg 饲粮仅有提高雏鸡植物血球凝集素滴定度的趋势；而 Mohanna 等[17]发现低锌饲粮并不影响雏鸡的免疫反应，并认为相对于生长性能而言，免疫反应可能对锌的摄入量不敏感。

3.3　饲粮锌水平对肉鸡粪锌排放及锌表观利用率的影响

微量元素超量排泄造成的环境污染已日益引起人们的关注，以微量元素降低排泄量为指标的添加量或需要量的确定将会受到越来越多的关注[18-21]。本研究中，饲粮锌水平显著影响肉鸡粪便锌含量。袁建敏等[22]报道，肉鸡饲粮中用 20 mg/kg 有机锌代替等水平硫酸锌后，风干粪样中锌含量降低了 3.05%；王明发[3]报道，与对照组相比，饲粮添加 120 mg/kg 锌增加了锌排出量 335%(固始鸡)和 174%(AA 肉鸡)；肉鸡不同的生长阶段对锌表观利用率有极显著的影响，表现为生长前期锌表观利用率最高，后期极显著降低。这与本研究的结果相似。Dozier 等[23]试验表明，饲粮以不同来源添加 40~120 mg/kg 的锌不影响肉鸡生长性能，但 40 mg/kg 添加水平相对于 120 mg/kg 使锌的排出量降低了 50%；以不同形式添加 4～12 mg/kg 的铜也不影响生长性能，而铜的排出量却降低了 35%，因此认为降低饲粮锌、铜水平可以在不影响肉鸡生长性能的情况下有力降低环境重金属蓄积。Mohanna 等[11]通过 2 个试验研究了含不同水平（20～190 mg/kg，基础饲粮含 20 mg/kg）和不同来源（无机 vs.有机）锌对 5～21 日龄肉鸡生长性能、机体锌存留率、排泄量和免疫反应的影响，结果表明饲粮锌水平为 45 mg/kg 时足够保证动物获得正常生长性能，而胫骨和血浆锌含量随饲粮锌水平增加而线性增加，并在饲粮锌水平为 75 mg/kg 时达到最大值，机体锌含量在饲粮锌水平为 90 mg/kg 时

达到饱和；饲粮锌水平对机体免疫反应和血浆碱性磷酸酶活性没有显著影响；当饲粮锌水平从 190 mg/kg 降至 65 mg/kg 时，机体锌的存留率从 8％增加到 20％，而排泄物中的锌含量降低了 75％；不同锌源之间没有差异。从而得出降低饲粮锌水平是降低家禽锌排污量和锌潜在环境污染的有效营养措施。所以，能够降低微量元素排泄量但不影响动物生长性能的添加量是微量元素需要量评定的重要依据，在这一依据的指导下确定有效的评定指标是目前亟待解决的关键问题。

4　结　论

① 饲粮适宜锌水平能够促进肉鸡生长，保持较好的免疫状态，但是随着饲粮锌水平的提高，粪便锌含量提高。

② 以平均日增重为衡量指标，肉鸡饲粮适宜的锌水平为 60 mg/kg。饲粮的锌水平为 120 mg/kg 时能够保持肉鸡较好的免疫功能。

参考文献：

[1] 周宁,李光玉,张海华,等.微量元素锌在动物生产中应用研究新进展[J].中国畜牧兽医,2014,41(2):106–110.

[2] 廖秀冬,吕林,王光瑛,等.日粮锌水平对 4～6 周龄肉仔鸡生长性能、胴体性能及肉品质的影响[J].中国畜牧兽医,2011,38(9):5–9.

[3] 王明发.日粮中添加锌制剂对固始鸡和 AA 肉鸡锌生物学利用率影响的研究[D].博士学位论文.南京:南京农业大学,2011.

[4] SMITH K T,COUSINS R J.Quantitative aspects of zinc absorption by isolated,vascularly perfused rat intestine[J].The Journal of Nutrition,1980,110(2):316–323.

[5] 田佳,刘国华,蔡辉益,等.21~42 日龄肉鸡铜、铁、锌、锰不同用量组合的研究[J].动物营养学报,2016,28(11):3660–3668.

[6] 何霆,刘汉林,梁琳,等.肉仔鸡饲粮中锌需要量的研究[J].动物营养学报,1995,7(1):2–9.

[7] 陈克嶙,郭荣富,郭亚东.实用饲粮补锌对肉鸡组织锌、免疫器官及生产性能的影响[J].畜牧与兽医,1998,30(4):155–157.

[8] 孙存孝,马雪云.饲料锌水平对肉用仔鸡肝脏中含锌酶活性的影响[J].畜牧与兽医,1996,28(4):156–157.

[9] 闫素梅.肉仔鸡体内锌与维生素 A 代谢的相互影响[D].博士学位论文.呼和浩特:内蒙古农业大学,2001.

[10] WEDEKIND K J,HORTIN A E,BAKER D H.Methodology for assessing zinc bioavailability:efficacy estimates for zinc-methionine,zinc sulfate,and zinc oxide[J].Journal of Animal Science,1992,70(1):178–187.

[11] MOHANNA C,NYS Y.Changes in zinc and manganese availability in broiler chicks induced by vegetal and microbial phytases[J].Animal Feed Science and Technology,1999,77(3/4):241–253.

[12] 张春善,赵志恭,索兰弟,等.肉仔鸡体内锌和维生素 A 互作效应及其对锌表观存留率的影响[J].动物营养学报,2001,13(2):26–29.

[13] PRASAD A S,OBERLEAS D.Changes in activities of zinc-dependent enzymes in zinc-deficient tissues of rats[J].Journal of Applied Physiology,1971,31(6):842–846.

[14] 张日俊,周毓平,黄燕,等.锌对肉仔鸡免疫器官生长发育及免疫功能调节作用的研究[J].畜牧兽医学报,1999,30(6):504–512.

[15] STAHL J L,COOK M E,SUNDE M L, et al.Enhanced humoral immunity in progeny chicks from hens fed practical diets supplemented with zinc[J].Applied Agricultural Research,1989,4(2):86–89.

[16] 崔恒敏,赵翠燕,黎德兵,等.高锌对肉鸡血液生化指标的影响[J].中国兽医学报,2004,24(5):504–507.

[17] MOHANNA C,NYS Y.Influence of age,sex and cross on body concentrations of trace elements (zinc,iron,copper and manganese) in chickens[J].British Poultry Science,1998,39(4):536–543.

[18] SANDOVAL M,HENRY P R,AMMERMAN C B,et al.Relative bioavailability of supplemental inorganic zinc sources for chicks[J].Journal of Animal Science,1997,75(12):3195–3205.

[19] SANDOVAL M,MILLER M J S,SADOWSKA-KROWICKA H,et al.Decreased zinc absorption in guinea pig models of acute and chronic ileitis[J].The Journal of Nutritional Biochemistry,1995,6(10):534–539.

[20] AO T,PIERCE J L,POWER R,et al.Evaluation of bioplex Zn® as an organic zinc source for chicks[J].International Journal of Poultry Science,2006,5(9):808–811.

[21] 闫立新,李华周,刘军,等.不同锌源对雏鸡的生物学效价[J].山西农业大学学报（自然科学版）,1999,19(3):249–252.

[22] 袁建敏,甘冰,张天国,等.肉用仔鸡日粮中添加蛋氨酸铜、锌和锰对粪便微量元素排放的研究[J].家畜生态学报,2008,29(6):66–70,75.

[23] DOZIER III W A,DAVIS A J,FREEMAN M E,et al.Early growth and environmental implications of dietary zinc and copper concentrations and sources of broiler chicks[J].British Poultry Science,2003,44(5):726–731.

Effects of Dietary Zinc Level on Growth Performance, Slaughter Performance, Serum Immune Index and Zinc Emissions of Broilers

CHEN Zhimin LIU Guohua* CAI Huiyi CHANG Wenhuan ZHENG Aijuan ZHANG Shu

（*National Research Center of Biological Feed, Key Laboratory of Feed Biotechnology of Agricultural Ministry, Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100081, *China*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary zinc level on growth performance, slaughter performance, serum immune index and zinc emissions of broilers. A total of 600 healthy one-day-old Arbor Acres (AA) broilers were randomly allocated into 5 groups with 6 replicates per group and 20 broilers per replicate. Dietary zinc levels of all groups were 30 (basal diet group), 60, 90, 120 and 150 mg/kg, respectively. The experiment lasted for 42 days. The results showed as follows: 1） during 1 to 42 days of age, the average daily gain of male broilers in 60, 90, 120 and 150 mg/kg zinc level groups was significantly higher than that in the basal diet group （P<0.05）, but no significant difference was observed on the average daily gain of female broilers among all groups (P>0.05）. 2) Dietary zinc level had no significant influence on immune organ index and slaughter performance of broilers at 21 and 42 days of age (P>0.05）. 3) For male broilers at 21 days of age, the newcastle disease serum antibody titer in 120 and 150 mg/kg zinc level groups was significantly higher than that in the basal diet group and 60, 90 mg/kg zinc level groups （P<0.05）; and at 21 days of age, no significant difference was observed on the newcastle disease serum antibody titer among all groups (P>0.05）. For female broilers at 21 days of age, no significant difference was observed on the newcastle disease serum antibody titer among all groups (P>0.05）, and at 42 days of age, the newcastle disease serum antibody titer in 120 mg/kg zinc level group was significantly higher than that in other groups（P<0.05）. 4) Dietary zinc level

had significant influence on the fecal zinc content and zinc apparent utilization rate of broilers at 21 and 42 days of age (P<0.05）. At different growth stages, the fecal zinc content at 42 days of age was obviously higher than that at 21 days of age, the zinc apparent utilization rate at 21 days of age was obviously higher than that at 42 days of age. In conclusion, under this experimental condition, when dietary zinc level is 60 mg/kg, it can meet the needs of broiler growth; when dietary zinc level is 120 mg/kg, it can maintain the immune function of broilers.

Key words: zinc; broilers; growth performance; immune; zinc emissions[i]

---

*Corresponding author, professor, E-mail: liuguohua@caas.cn (责任编辑　武海龙)